Société française de philosophie
Atelier « Monde », séance du 26 janvier 2013

Mathieu GIBIER lycée *Henri Martin* Saint-Quentin

Le principe d'action et de réaction dans le monde physique et dans le monde humain : *comment Kant démontre le principe d'égalité de l'action et de la réaction dans les Premiers Principes métaphysiques de la science de la nature.*

Quand il rend hommage au grand ouvrage de Newton, Kant assortit souvent son éloge d'une réserve quant à son titre. Newton l'a appelé *Principes mathématiques de la philosophie de la nature*, et pourtant les lois sur lesquelles tout son système est fondé ne sont justement pas de type mathématique. Elles ne règlent pas simplement la manière de construire une grandeur dans l'intuition pure, mais concernent l'existence même d'un objet du sens externe et la manière dont il peut interagir avec un autre. Il faut que de telles lois reposent sur des principes métaphysiques, et non pas simplement mathématiques, et Kant a entrepris cette fondation dans l'ouvrage des *Premiers Principes métaphysiques de la Nature*, publié exactement un siècle après celui de Newton.

Les trois grandes lois posées par Newton dans le premier chapitre des *Principia* sont le principe d'inertie, l'égalité de la force au produit de la masse par l'accélération, enfin l'égalité de l'action et de la réaction. Il fait dériver des deux premières lois, en corollaire, la règle de la composition des mouvements et des forces (le « parallélogramme des forces »). Et dès lors il peut retrouver les principaux résultats déjà obtenus par ses prédécesseurs en mécanique : la conservation de la quantité de mouvement dans le choc, d'une part, et d'autre part les lois de l'équilibre des machines. C'est une garantie suffisante pour faire dans la suite du traité un usage étendu de ces règles, grâce auxquelles il pourra accomplir son principal dessein : identifier la force, ayant pour centre le soleil, à laquelle les planètes doivent être soumises, étant donné les trois lois de Kepler auxquelles leur mouvement obéit.

Kant entend fonder ces grandes lois de la mécanique sur le système des principes de l'entendement pur mis au jour dans la première *Critique*. Il s'agit de montrer qu'elles ne sont pas extraites « après coup » de notre expérience de la matière, mais au contraire qu'elles rendent possible cette expérience. Elles constituent un système qui n'a rien de contingent, car sans elles il ne saurait y avoir pour nous de nature externe. Pour le dire autrement, les principes fondamentaux de la mécanique ne sont pas inférés de notre observation des événements physiques habituels (du comportement ordinaire de la matière), mais ils doivent être posés à l'avance pour que l'expérience cohérente de n'importe quel événement physique devienne possible.

Ainsi, le principe d'inertie (première loi de Newton) est la forme particulière que prend la deuxième analogie de l'expérience (« Tout changement a une cause ») quand on l'applique à la matière, c'est-à-dire à l'objet propre du sens externe. Et cette « analogie » constitue un principe

sans lequel nous ne pourrions percevoir aucune succession objective, nous ne pourrions prendre conscience d'aucun changement. Quant à la seconde loi, c'est une conséquence du principe d'inertie, à laquelle Kant fait allusion dans sa *Remarque générale à la mécanique*. Enfin, la loi d'égalité de l'action et de la réaction (troisième loi de Newton) dérive du principe selon lequel toute action d'une substance sur une autre doit être réciproque, principe transcendantal lui aussi car c'est une condition nécessaire pour percevoir la *coexistence* de plusieurs substances. Contrairement à Newton, Kant ne considère pas la règle de la composition des mouvements comme un corollaire, mais comme un autre principe indépendant provenant des conditions auxquelles on peut appliquer la catégorie de la quantité au phénomène du mouvement (il est démontré dans la phoronomie, première partie des *PPMSN*). Mais sa démarche la plus audacieuse consiste à tenter une fondation métaphysique de l'attraction universelle, comme propriété essentielle de toute matière. Ici le philosophe peut et doit aller plus loin que le mathématicien, qui, en tant que tel, se contente à juste titre d'inférer cette loi des faits observés (en l'occurrence les lois de Kepler) sans se permettre d'hypothèse physique sur la nature de cette force.

Je voudrais examiner ici la manière dont Kant cherche à démontrer la troisième loi de Newton, l'égalité de l'action et de la réaction. Dès sa découverte, le principe d'inertie a fait l'objet de tentatives pour en donner une démonstration métaphysique, fondée sur la tendance d'un être quelconque à persévérer dans son état (que ce soit sa forme ou son état de mouvement), voire sur l'immutabilité divine (qui rendrait raison de l'axiome précédent). Il en va ainsi chez Descartes notamment (voir le *Monde* et les *Principes*). En revanche, l'égalité de l'action et de la réaction est une conquête décisive de Newton, dans laquelle la métaphysique semble n'avoir joué aucun rôle. Elle est présentée en effet dans les *Principia* comme une vérité d'expérience : c'est d'abord en multipliant les exemples que Newton nous convainc de sa justesse. Il y a donc là un défi pour le métaphysicien, qui ne peut pas accepter qu'un principe manifestement universel et nécessaire soit fondé simplement sur le constat qu'il en a toujours été ainsi jusqu'à présent. Kant estime qu'il a relevé ce défi avec succès, puisqu'il écrit dans la *Remarque 1* du théorème correspondant : « Voilà donc la construction de la communication du mouvement, qui comporte la loi concernant l'égalité de l'action et de la réaction comme sa condition nécessaire ; loi que Newton ne se hasardait pas à démontrer *a priori*, c'est pourquoi il faisait appel à l'*expérience*. » Cela n'a été possible toutefois qu'au prix d'une refonte complète du statut de la métaphysique théorique. Il n'est plus question de connaître par là la nature comme une réalité en soi, ni de faire dériver ses lois de l'essence de son Créateur. Mais il faut comprendre pourquoi la loi en question est une condition sans laquelle on ne peut même pas concevoir l'expérience d'une interaction entre plusieurs corps.

Le paradigme du choc des corps.

Or la démonstration proposée est surprenante (Kant le concède lui-même dans la note qui lui fait suite) mais profonde. Elle mérite d'être éclairée par un rappel du contexte scientifique dans lequel elle s'inscrit. A première vue, Kant s'intéresse seulement à un cas particulier d'interaction physique : celui du choc de deux corps. Plus précisément encore, il étudie la communication du mouvement qui a lieu lorsqu'un corps en rencontre un autre au repos. Or la troisième loi de Newton est bien plus générale : elle concerne d'autres situations comme l'attraction mutuelle de deux corps, ou la tension d'un fil en réaction à la force exercée par un poids qu'on y suspend. Pourquoi Kant, qui veut démontrer le principe dans sa généralité, se restreint-il au phénomène du choc des corps ? Dans les *Principia*, il est vrai, le lien est explicite

entre les règles correspondantes et le principe d'égalité de l'action et de la réaction. Mais la règle fondamentale qui régit le choc des corps, à savoir la conservation de la somme algébrique des quantités de mouvement, est seulement présentée comme une *application* du principe, certainement pas comme son fondement. Si elle contribue à en établir la justesse, c'est uniquement *a posteriori*, dans la mesure où son grand pouvoir explicatif de phénomènes déjà connus par ailleurs constitue un gage de sûreté.

Kant n'est pas le premier philosophe à attacher ainsi une valeur paradigmatique aux lois du choc des corps, et à rechercher en elles les principes les plus généraux du mouvement. Leibniz a procédé de façon analogue : c'est en se réappropriant les règles du choc des corps élastiques, publiées sans démonstration par Huygens en 1669, qu'il en est venu à son estime de la force comme proportionnelle au produit de la masse par le carré de la vitesse[1], et qu'il a pu ensuite ériger progressivement toute sa « dynamique », science du mouvement dont les démonstrations sont mathématiques, mais toujours conçue par Leibniz comme s'appuyant sur des principes métaphysiques. Ainsi, dans la dernière section de sa *Dynamica* (traité quasi achevé en 1690 mais jamais publié de son vivant), à la proposition 7, Leibniz démontre explicitement l'égalité de l'action et de la réaction entre deux corps qui se rencontrent grâce à sa méthode pour rendre raison des lois du choc des corps. Pour lui comme pour tous les philosophes strictement « mécanistes », il s'agissait là de bien plus que d'un cas particulier puisque, l'univers étant plein de matière et toute action immédiate à distance d'un corps sur un autre étant inintelligible, toute interaction se réduit en principe à une communication du mouvement au contact, donc doit pouvoir se ramener aux lois du choc des corps. Comme le fait remarquer M.Fichant dans la *Réforme de la Dynamique*, ce qui n'occupe plus aujourd'hui que quelques paragraphes dans les manuels de mécanique était considéré pour cette raison comme le type même de l'événement physique. Les choses se présentent toutefois différemment chez Kant, qui a rompu de manière définitive avec cette conception strictement mécaniste. Il explique dans la Dynamique (deuxième section des *PPMSN*, à ne pas confondre avec la science ainsi désignée par Leibniz) qu'il est nécessaire de poser dans la matière des *forces motrices originaires* de répulsion et d'attraction par lesquelles un corps agit sur un autre sans qu'il y ait pour autant échange du mouvement de l'un à l'autre. C'est ainsi qu'il envisage l'attraction universelle, condamnant *a priori* toutes les tentatives qui, des tourbillons de Descartes jusqu'à Huygens, Leibniz, et au-delà, cherchaient à dériver la pesanteur d'une pression exercée par un éther insensible engendrant du fait de sa rotation des tendances centrifuges. Ce mode d'explication était voué à l'échec, car l'action d'une substance matérielle sur une autre (telle que la communication du mouvement) présuppose la réalité de la matière, laquelle présuppose à son tour une force d'attraction fondamentale. Ce serait donc un cercle logique de faire dériver celle-ci d'un phénomène de communication du mouvement. Par conséquent, l'action par contact n'a plus chez Kant aucun privilège d'intelligibilité par rapport à l'action à distance[2]. Comment se fait-il dès lors que le phénomène

[1] Voir l'étude du manuscrit de 1679 *in* Fichant, La *Réforme de la Dynamique*.

[2] Voir la Remarque 1 après le Théorème 7 de la Dynamique : « L'objection la plus ordinaire contre l'action immédiate à distance est qu'une matière ne peut agir immédiatement *là où elle n'est pas*. Lorsque la terre amène de manière immédiate la lune à se rapprocher d'elle, la terre agit sur un objet à une distance de beaucoup de milliers de lieues et pourtant de manière immédiate ; l'espace entre elle et la lune peut aussi bien être considéré comme entièrement vide ; car, [quand] même il y aurait entre les deux corps de la matière, celle-ci n'est pour rien dans cette attraction ; elle agit donc immédiatement en un lieu où elle n'est pas ; fait en apparence contradictoire. Et toutefois il est si peu contradictoire que l'on peut bien plutôt dire que toute chose n'agit dans l'espace sur une autre qu'en un lieu où le facteur agissant ne se trouve pas. En effet, s'il devait agir là où il se trouve lui-même, la chose sur laquelle il agit ne serait pas alors *en dehors de lui* ; car ce *dehors* signifie la présence en un lieu d'où l'autre élément est absent. Même si la terre et la lune

du choc des corps conserve dans les *PPMSN* un statut paradigmatique pour la démonstration du principe de l'égalité de l'action et de la réaction ?

Il y a d'abord un souci de simplicité de la part de Kant. La démonstration qu'il propose vaut aussi bien pour les cas de traction d'un corps par un autre, mais elle procède alors exactement de la même façon : il fait donc confiance à son lecteur pour pouvoir l'adapter à ce cas *mutatis mutandis*. De même, il envisage uniquement le cas d'un corps en mouvement en rencontrant un autre en repos, parce qu'on peut l'étendre à tous les autres cas possibles au moyen de la seule mathématique[3]. Reste que le théorème 4 de la Mécanique ne porte pas sur tous les cas d'interactions : il laisse de côté celle que Kant appelle « dynamique », et qui concerne notamment l'attraction mutuelle de toutes les parties de la matière[4]. C'est qu'on ne peut pas parler à ce niveau d'interaction *entre substances*, puisque l'attraction universelle est le fondement de la réalité même de la matière. En termes logiques, la véritable interaction entre substances matérielles doit pouvoir se représenter comme la communauté entre deux sujets dont chacun modifie le prédicat de l'autre. Tel est le domaine propre de la troisième analogie de l'expérience. Or le prédicat essentiel qui convient à une substance matérielle, c'est son état de mouvement. On conçoit donc l'action d'une substance sur une autre quand on comprend comment, *du fait de son état de mouvement* (et non pas simplement du fait d'une force originaire), la première modifie l'état de mouvement de la seconde. C'est pourquoi toute interaction proprement dite entre des corps se ramène à un phénomène de communication de mouvement. Voilà le domaine normal de la loi d'égalité entre l'action et la réaction : la tâche d'une fondation philosophique de la mécanique est de montrer qu'elle vaut pour toute communication du mouvement, et c'est bien ce que fait Kant malgré les restrictions apparentes du champ de sa démonstration.

La solution du problème du choc des corps, fondée sur la troisième analogie de l'expérience et sur la relativité du mouvement.

Dans ces conditions, l'établissement du théorème se présente en même temps comme la résolution d'un problème élémentaire concernant la rencontre entre deux corps. Soit un corps A en mouvement, qu'on suppose sphérique ou réduit à un point (de façon à pouvoir faire ici abstraction de la forme), rencontrant un autre corps B au repos. On demande quel sera l'état de mouvement des deux corps après le choc, c'est-à-dire comment l'un et l'autre vont interagir du fait de la rencontre. Impossible de résoudre un tel problème, explique Kant, tant que l'on ne se représente pas B comme étant lui aussi en mouvement vers A. En effet, en vertu de la troisième analogie de l'expérience, « toute action extérieure dans le monde est une action *réciproque* »,

---

se touchaient, le point de contact serait pourtant un lieu où ne seraient ni la terre ni la lune ; car les deux corps seraient encore éloignés l'un de l'autre de la somme de leurs rayons. »

[3]« Or, puisque la même loi (comme l'enseigne la mécanique mathématique) ne souffre pas de modifications quand on admet au lieu du choc contre un corps au repos, un choc du même corps contre un corps également en mouvement et que de même la communication du mouvement par le choc ne diffère de la communication du mouvement par la *traction* que par la direction suivant laquelle les matières résistent les unes aux autres dans leurs mouvements ; il s'ensuit que *dans toute communication du mouvement* l'action et la réaction sont toujours égales… » (fin de la démonstration du Théorème 4). Kant reste toujours attentif à ne pas brouiller les limites qui séparent les différentes sciences, ici la métaphysique de la nature et la physique mathématique.

[4] Voir la fin du corollaire 2 : « Cependant il existe encore une autre loi, celle-là *dynamique*, de l'égalité de l'action et de la réaction des matières, non en tant que l'une communique (*mitteilt*) à l'autre son mouvement, mais en tant qu'elle le lui confère (*erteilt*) originairement, le produisant en même temps en elle de manière opposée. Il est facile de démontrer cette loi de manière semblable. »

c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'action extérieure sans réaction. Mais rien ne peut résister à l'action exercée par un corps en tant qu'il est en mouvement, sinon un mouvement en sens contraire. C'est pourquoi il faut attribuer à B un tel mouvement, ce qui est permis par le caractère relatif de tout mouvement envisagé comme simple grandeur, ainsi qu'en traite la Phoronomie. Quand un corps est en mouvement par rapport à un certain espace, il est toujours possible d'attribuer à cet espace relatif une partie de ce mouvement, dirigée en sens contraire, en diminuant d'autant la vitesse du corps : cela ne change strictement rien au phénomène du mouvement. Ici, on peut donc concevoir que B est en mouvement vers A *avec l'espace empirique*, de sorte que, bien qu'en repos par rapport à cet espace, il avance réellement en direction de A avec une certaine vitesse. On doit d'ailleurs attribuer aux deux corps une quantité de mouvement égale, celle-ci étant proportionnelle, comme Kant l'établit au début de la Mécanique, au produit de la masse par la vitesse. Si, par exemple, B est deux fois plus grand que A, on lui attribuera, ainsi qu'à l'espace empirique, une vitesse deux fois plus petite que celle qu'on laisse à A, leurs deux vitesses devant redonner ensemble la vitesse de rapprochement initiale (si A s'approchant de B au repos a une vitesse comme 3, on attribuera à A 2 degrés de vitesse, et à B un seul degré de vitesse). Pourquoi des quantités de mouvement égales de part et d'autre ? « Car la modification du rapport (c'est-à-dire le mouvement) est entre eux tout à fait réciproque ; dans la mesure où l'un des corps se rapproche de chaque partie de l'autre, l'autre se rapproche de chaque partie du premier ; et comme ce qui importe ici n'est pas l'espace empirique qui entoure les deux corps, mais simplement la ligne qui se trouve entre eux (puisque ces deux corps sont considérés comme en rapport réciproque uniquement suivant l'influence que le mouvement de l'un peut avoir sur le changement d'état de l'autre, abstraction faite de toute relation à l'espace empirique), leur mouvement n'est envisagé comme déterminable que dans l'espace absolu dans lequel chacun des deux corps doit participer également au mouvement qui est attribué à l'un d'entre eux dans l'espace relatif, puisqu'aucune raison n'existe pour en attribuer à l'un plus qu'à l'autre. » A partir du moment où l'on admet, selon la troisième analogie de l'expérience, que l'action des deux corps doit être mutuelle, la relativité du mouvement oblige à reconnaître qu'elle doit être égale de part et d'autre. La seule raison pour attribuer plus de mouvement à A qu'à B, ce serait que A se déplace dans l'espace relatif par rapport auquel B, lui, est en repos. Mais comme cette différence de situation par rapport à l'espace empirique ne change strictement rien à la manière dont se modifie la relation entre les deux corps (c'est-à-dire à la vitesse avec laquelle la distance entre eux se réduit), il n'y a aucune raison d'en tenir compte. Notons d'ailleurs que, si l'on attribuait à un corps plus de mouvement qu'à l'autre, ce surplus ne pourrait être contrebalancé par aucune résistance, et il y aurait donc action sans réaction, contrairement à la troisième analogie.

Reste à voir comment cette répartition du mouvement entre A et B, rendue nécessaire pour une raison transcendantale, permet de résoudre le problème posé. Puisqu'on a attribué une quantité de mouvement égale à A et à B, les deux corps au moment de la rencontre doivent se neutraliser, et par conséquent demeurer au repos. Seulement, l'espace relatif, lui, auquel on a dû conférer, pour conserver les phénomènes, un mouvement de vitesse égale à celle de B, dans la même direction, garde évidemment ce mouvement après le choc. Cela revient à dire que les deux corps se déplacent par rapport à lui dans la direction opposée. Ils iront donc de concert après le choc, dans la direction de A, et avec une vitesse égale à celle qu'on a attribuée à B pour concevoir l'interaction. Dans l'exemple précédent, où le corps A deux fois plus petit s'approche de B au repos avec trois degrés de vitesse, il faut concevoir, comme on l'a vu, que A n'a que deux degrés de vitesse, et que B s'approche en même temps avec l'espace relatif, avec un degré de vitesse ;

donc, lors de la rencontre, l'espace continue à se déplacer dans la même direction, tandis que les mouvements respectifs des deux corps se neutralisent. Après le choc, ils iront ainsi de concert dans la direction de A, avec un degré de vitesse, par rapport à l'espace relatif.

Comparaison avec la règle correspondante des Principes *de Descartes, qui viole l'égalité de l'action et de la réaction.*

On saisira mieux la portée de la démonstration de Kant en la comparant aux diverses solutions proposées depuis le XVIIe siècle pour résoudre ce problème que Descartes a été le premier à formuler. Selon les *Principes de la philosophie*, d'abord, le critère essentiel serait la comparaison des masses des deux corps. Si le corps A est plus grand que le corps B au repos, alors il l'entraînera toujours avec lui après le choc en lui communiquant la portion de sa quantité de mouvement nécessaire pour que les deux corps aillent de concert ensuite. Mais, s'il est plus petit, il doit rejaillir avec toute sa vitesse, sans ébranler aucunement le corps B. Cette règle 4 est pour le moins contre-intuitive et opposée à l'expérience, ce pourquoi Descartes prend soin de préciser qu'elle ne vaut (comme les autres règles) que dans le cas idéal de deux corps parfaitement durs, et en faisant abstraction de la présence du milieu (dans les chocs observables, c'est essentiellement l'air environnant qui explique selon lui pourquoi un corps même très gros est toujours tant soit peu mis en mouvement par l'autre). Toutefois, même en tenant compte de cette restriction, le principe de l'action et de la réaction disqualifie d'emblée la solution imaginée par Descartes, car si B conserve son état de repos après le choc on ne peut pas dire qu'il y ait action mutuelle. Le corps B aura agi sur le corps A, sans que A agisse en retour sur le corps B. Selon Descartes, le vrai contraire du mouvement est le repos, et non un mouvement en sens opposé. Cependant, la quantité d'une telle résistance par le repos, contrairement à celle qu'oppose un mouvement en sens contraire, ne se laisse pas construire. Aussi est-il amené à penser que le corps en repos, s'il est plus grand, l'emporte totalement sur l'autre, ce qui revient à supprimer toute réaction du corps en mouvement. Cela n'est pas seulement en désaccord avec l'expérience contingente que nous faisons du monde autour de nous, mais *avec la possibilité même de toute expérience* d'une interaction véritable entre corps. Voilà pourquoi cette règle doit être jugée fausse, même si l'on tient compte de son caractère volontairement abstrait.

Comparaison avec la « théorie du mouvement abstrait » de Leibniz.

La solution du même problème introduite par Leibniz dans sa *Theoria motus abstracti* (1672) présente en quelque sorte l'erreur inverse. Si l'on réduit les corps à leurs attributs géométriques (grandeur, figure et mouvement), sans les doter d'aucune force telle qu'une répugnance positive au mouvement (l'inertie de Kepler), il faut admettre selon lui que le corps A rencontrant le corps B sur sa route doit l'emporter avec lui *sans rien perdre de sa vitesse*, quelle que soit la grandeur de B. Cette règle est tout aussi contre-intuitive que celle de Descartes, et Leibniz s'applique également à expliquer pourquoi elle n'est pas vérifiée du tout par nos expériences dans ce domaine. Afin de connaître les lois *concrètes* du choc des corps (celles qui s'accordent avec les phénomènes), il faut recourir à la considération du système du monde, tous les corps interagissant les uns avec les autres au moyen d'un éther qui leur confère notamment leur gravité et leur élasticité. Or ces deux propriétés, qui débordent le domaine des attributs purement géométriques, sont indispensables à prendre en compte afin de déterminer les lois correctes du choc (celles que Leibniz avait pu lire chez Huygens et chez Wren). La théorie du mouvement abstrait doit donc être complétée par une théorie concrète (que Leibniz expose dans son *Hypothesis physica nova*), dont le contenu ne relève plus de la pure nécessité géométrique

mais tient compte de la structure contingente de notre monde. Cependant, ici comme avec les règles de Descartes, Kant nous montre pourquoi une telle séparation de l'abstrait et du concret (qui sera d'ailleurs dépassée par Leibniz lui-même à partir de sa « réforme de la dynamique »[5]) n'est pas satisfaisante. Ce n'est pas le contenu contingent de notre expérience qui invalide la théorie dite du mouvement abstrait, mais sa discordance avec les conditions nécessaires d'une expérience quelconque de communication du mouvement. Si le corps A poussait le corps B devant lui sans rien perdre de sa vitesse, il agirait sur ce corps sans aucune réaction de la part de B (cas inverse de la règle 4 de Descartes, où c'est B qui était supposé agir seul) : nous ne pouvons pas faire l'expérience d'une telle action sans réaction.

Rétrospectivement, on peut trouver dans les règles de Descartes et dans ce premier état de la physique de Leibniz comme un pressentiment des deux grands types de principes qui structurent notre expérience de la nature extérieure en général. Les premiers sont mathématiques, et c'est en les considérant exclusivement qu'on aboutit à la théorie abstraite proposée par Leibniz (plutôt qu'à la règle 4 de Descartes, car celle-ci tient compte du moins de l'inertie de la matière, laquelle n'est pas une notion simplement mathématique). Les seconds sont dynamiques : ils se rapportent au mouvement considéré non plus seulement comme une grandeur, mais selon la relation de cause à effet. Tout se passe comme si, dans un premier temps, Descartes et Leibniz avaient éprouvé le besoin de se figurer ce second niveau au moyen de l'hypothèse d'un éther universel, par l'intermédiaire duquel tous les corps agissent et réagissent les uns sur les autres. Kant nous révèle que cet éther est moins un objet d'expérience qu'un véhicule pour penser de manière systématique les lois de l'interaction entre les corps. N'est-ce pas un cas particulier de la « révolution copernicienne » que la *Critique de la raison pure* fait subir à la métaphysique ? Si l'on peut en effet connaître *a priori* les lois de la communication du mouvement, ce n'est pas en reconstituant le système du monde à la manière de Descartes, car notre raison n'a pas accès à la nature en elle-même. Ce n'est pas non plus en posant l'existence de l'éther comme une hypothèse contingente, suivant Leibniz dans son *Hypothesis physica nova* : car la contingence de l'hypothèse entraînerait celle des conséquences, c'est-à-dire des lois du mouvement elles-mêmes (comme Leibniz d'ailleurs était prêt à l'admettre). Mais c'est en découvrant derrière cet éther hypothétique l'expression d'une condition que *notre esprit lui-même* impose à l'ensemble des phénomènes de manière à rendre possible l'expérience d'une interaction quelconque. On comprend alors pourquoi les lois de la communication du mouvement emportent bien une forme de nécessité : nécessité transcendantale, sans laquelle la conscience de l'action d'un corps sur un autre ne serait pas possible, mais non nécessité formelle (dont le contraire impliquerait contradiction). C'est seulement dans la mesure où Leibniz restreignait la nécessité « géométrique » ou « métaphysique » à ce critère formel qu'il était conduit à admettre avec cohérence que les lois universelles de la nature ont quelconque chose de contingent.

La démonstration de Kant retrouve la « méthode d'un bateau » par laquelle Huygens avait déjà établi les lois correctes du choc des corps.

La théorie de Kant concernant l'action et la réaction n'explique pas seulement les difficultés éprouvées par les plus grands esprits pour établir les règles correctes de la communication du mouvement. Elle éclaire également le contenu de ces règles et la manière dont on y est finalement parvenu. Une date marquante dans cette histoire est celle de 1669, quand la Royal Academy de Londres sollicite les savants sur la question. Trois mémoires lui

[5] Voir Fichant.

parviendront qui, bien qu'employant des méthodes très différentes, donnent tous des lois correctes du choc : on les doit aux savants Wallis, Wren, et Huygens. Les règles établies par Wallis diffèrent de celles des deux autres dans la mesure où elles correspondent au choc des corps *inélastiques* (typiquement des corps mous), lesquels on suppose aller de concert après le choc, alors qu'ils rejailliraient s'ils étaient élastiques. La distinction n'a d'ailleurs pas été claire d'emblée, car Huygens envisage quant à lui des corps « parfaitement durs » alors même que ses lois sont celles des corps élastiques. On peut résumer la distinction entre ces deux points de vue en considérant le cas de rencontre le plus simple : deux corps venant de directions opposées, qui se heurtent avec la même quantité de mouvement. Selon Huygens et Wren (choc élastique), les corps doivent alors rejaillir en conservant chacun la même quantité de mouvement. Selon Wallis au contraire (choc inélastique), ils doivent s'immobiliser car leurs mouvements, étant de force égale, se neutralisent en quelque sorte. En fait, ce qui entraîne le rejaillissement dans le premier cas est la restitution des corps après leur déformation sous l'effet du choc, plutôt que le choc lui-même.

A lire la démonstration de Kant, on voit qu'il adopte implicitement le point de vue de Wallis : il pose que, les quantités de mouvement étant égales de part et d'autre, le corps A et le corps B doivent s'arrêter après le choc. Il n'est pas question de rejaillissement. Toutefois, la démarche grâce à laquelle il ramène le cas envisagé au début (A en mouvement vers B en repos) à la rencontre paradigmatique entre deux corps de forces égales paraît clairement inspirée de la méthode par laquelle Huygens a établi ses lois. Fondée sur la relativité du mouvement, elle est appelée familièrement « méthode du bateau » à cause de la figuration employée par Huygens[6]. Cette démarche limpide, mais dont le fondement est problématique, avait déjà fasciné Leibniz[7]. Voilà en substance comment Huygens procède[8]. Il commence par établir, au moyen du principe selon lequel le centre de gravité d'un système ne peut jamais monter plus haut qu'il n'est descendu (version restreinte de ce qu'on appelle maintenant le principe de conservation de l'énergie), que des corps parfaitement durs (donc sans parties auxquelles ils puissent transférer une part de leur mouvement), se heurtant avec des quantités de mouvement égales de part et d'autre, doivent rejaillir vers les côtés d'où ils sont venus avec la même vitesse. Tous les autres cas de rencontre sont ramenés à celui-ci au moyen du dispositif suivant. Supposons, comme dans le cas traité par Kant, que le corps A se déplace vers le corps B en repos. On peut imaginer que ces deux corps se trouvent dans un bateau qui glisse uniformément sur l'eau, et que c'est pour un observateur placé sur la rive que B apparaît en repos. Les apparences seraient autres si l'observateur était lui-même dans le bateau. Attribuons ainsi un tiers de la vitesse de A au corps B supposé deux fois plus gros, de façon à ce qu'ils aient des quantités de mouvement égales. Il suffit de considérer que le bateau sur lequel ils se trouvent se meut avec la même vitesse que B, mais dans une direction contraire, pour que B paraisse en repos à l'observateur placé sur la rive. Or on sait ce qui doit arriver après le choc pour un observateur situé dans le bateau : A et B vont rejaillir avec la même vitesse. Seulement, leur mouvement ayant changé de sens, il faut maintenant *soustraire* le mouvement du bateau à celui de A, et au contraire *l'ajouter* à celui de B, pour obtenir les apparences relatives à l'observateur situé sur la rive. Ce qui achève de résoudre le problème.

On reconnaît nettement le procédé expliqué par Kant en des termes plus abstraits. Le bateau joue exactement le rôle de ce qu'il appelle « espace relatif » ou « espace empirique »,

[6] Voir son traité sur la percussion de 1703 ?
[7] Voir Fichant.
[8] Je renvoie à Fichant, introduction à la *Réforme de la dynamique*.

auquel on attribue un mouvement uniforme afin de pouvoir concevoir une action et une réaction mutuelles entre les deux corps qui se rencontrent. Le cas de choc envisagé est donc ramené à celui où les quantités de mouvement sont égales par une démarche identique, la seule différence étant que Kant, faisant ici abstraction de l'élasticité, n'admet aucun rejaillissement, contrairement à Huygens dans son hypothèse fondamentale. En se réappropriant ainsi l'ingénieux procédé du savant hollandais, Kant nous permet de mieux en comprendre le sens, d'y voir autre chose qu'une astuce de mathématicien[9]. Leibniz avait déjà attiré l'attention sur le problème fondamental : que les mêmes lois du choc restent valides lorsque l'on passe d'un référentiel à l'autre, cela ne va nullement de soi. Certes, le mouvement comme phénomène est toujours relatif : dans un système de points en mouvement, on peut toujours faire une infinité d'hypothèses différentes sur la répartition des vitesses qui donneront des phénomènes équivalents[10]. Mais, lorsque l'on cesse de considérer le mouvement comme une simple grandeur pour lui attribuer une véritable action causale, ainsi que cela a lieu avec la communication du mouvement, alors rien ne garantit *a priori* que ces hypothèses continuent à être équivalentes. Même si l'observateur sur la rive perçoit exactement les mêmes phénomènes avant le choc, il se pourrait que les apparences après le choc se mettent à diverger, parce que les corps ne se comporteraient pas de la même façon selon la manière dont on répartit entre eux la vitesse respective totale (selon que B est effectivement en repos dans l'espace absolu, ou bien que son repos est seulement une apparence causée par le mouvement simultané du bateau en sens contraire). C'est pourquoi Leibniz considère un tel principe, et les lois du mouvement qui en dérivent, comme une vérité contingente et non nécessaire (au sens où un théorème de mathématique peut l'être). Loin de voir là simplement un défaut de rationalité, il y décèle la trace d'un plan d'intelligibilité plus élevé, dans la mesure où le véritable fondement du principe est une tendance à *l'harmonie* (accord des mêmes lois avec toute la diversité des hypothèses concernant les mouvements des corps, l'harmonie étant définie par Leibniz l'idée d'unité dans la diversité) qui manifeste la sagesse de l'Être originaire.

L'approche de Kant est différente. Nous avons vu qu'il attribue une véritable nécessité à la loi d'égalité de l'action et de la réaction qui est ici en jeu, même si ce n'est plus la nécessité simplement formelle d'une proposition dont la négation impliquerait contradiction. Or c'est bien sur cette loi au statut transcendantal qu'il fait reposer, pour sa part, la validité de la méthode de Huygens. Commençons par remarquer une différence très significative entre l'exposition qu'en fait ce dernier et la façon dont Kant se la réapproprie. Huygens ne dit pas qu'il est *impossible* de se représenter l'action mutuelle de deux corps qui se rencontrent quand leurs quantités de mouvement sont inégales, tant qu'on ne les a pas ramenés, au moyen d'un mouvement hypothétique de l'espace relatif, au cas des quantités égales. Il se contente de poser qu'une telle reconstruction du mouvement des deux corps est *permise*, mais ne prétend pas qu'elle est *nécessaire*. Son intérêt paraît surtout stratégique, dans la mesure où elle permet de ramener tous les cas ambigus de choc au cas le plus simple pour lequel la solution est immédiate. Kant, en revanche, dans la démonstration du théorème 4, attribue à cette construction une nécessité

[9] C'est d'ailleurs déjà beaucoup plus que cela chez Huygens lui-même, comme le souligne Fichant dans la même introduction.

[10] Cela est démontré avec rigueur par Leibniz dans sa *Dynamica* de 1690, 2e Partie, 2e Section, 2e chapitre, proposition 16. Il termine cependant par cette mise en garde qui souligne très clairement la différence à faire entre le point de vue mathématique et le point de vue dynamique : « I*taque nihil prohibet, quamcunque hypothesim veram esse, si nihil aliud quam Mathematicam possibilitatem desideremus. Intelligimus scilicet quod in motu pure mathematicum est solumque agnosci potest, situs nempe et eorum mutationes. Sed pars physica, causae agendi scilicet et virium subjecta, et aptae rationibus reddendis explicationes alterius sunt considerationis*. »

fondamentale : sans elle, il n'y a aucun moyen de se représenter l'action et la réaction des deux corps comme égales, et, si l'action et la réaction ne sont pas pensées comme égales, la communication du mouvement entre les corps reste purement et simplement inintelligible. Du point de vue de Huygens, le succès de la méthode du bateau indique la relativité complète du mouvement (rectiligne, du moins) : on ne peut attribuer à aucun corps un degré de vitesse déterminé dans l'espace absolu, car les diverses hypothèses possibles sont indiscernables non seulement sur le plan de la cinématique (quand on envisage le mouvement uniquement comme grandeur), mais aussi sur le plan de la mécanique (quand on tient compte du rapport de cause à effet entre les mobiles). Chez Kant, au contraire, le phénomène causal de la communication de mouvement permet de dépasser la relativité totale qui prévaut sur le plan de la phoronomie (équivalent de la cinématique). Puisqu'il n'y a *qu'une* manière de rendre intelligible l'action d'un mobile sur un autre, à savoir celle qui leur attribue des quantités de mouvement égales dans l'espace absolu, cette répartition du mouvement entre les mobiles et l'espace empirique doit être considérée, non comme une hypothèse possible parmi d'autres, mais comme une réalité *nécessaire*. Kant affirme ainsi dans le Théorème 3 de la Phénoménologie (dernière section des *PPMSN*) : « Tout mouvement d'un corps par lequel il exerce une action motrice sur un autre corps rend *nécessaire* un mouvement égal et contraire de ce corps. »

Dimension polémique de la démonstration de Kant.

Dans la Méthodologie transcendantale de la *C.R.P.*, Kant passe en revue les différences essentielles qui existent entre une preuve de type transcendantal, fondée sur un concept unique appliqué à la forme générale de l'intuition, et une preuve mathématique ou empirique. Dans le second cas, un même résultat peut toujours se prouver par différents modes, car l'intuition nous présente une matière variée, et l'on peut donc partir de divers chemins pour arriver au but. Il y a, par exemple, plusieurs manières de montrer que la tangente au cercle en un point est perpendiculaire à son rayon, parce qu'on peut construire diversement cette notion de tangente (soit, à la manière de la géométrie antique, comme la droite telle qu'on n'en peut tracer aucun autre entre elle et la courbe correspondante ; soit comme limite d'une sécante, ce qui permet d'appliquer le calcul infinitésimal). Il n'y a qu'une seule preuve possible, en revanche, du principe transcendantal du caractère mutuel de toute action extérieure, fondée sur l'unique catégorie de la communauté. Comme ce principe ne peut être appliqué à la communication du mouvement si l'on ne décompose pas le phénomène à la manière de Huygens, cette décomposition est également une voie nécessaire pour la démonstration des lois du choc. Il n'y a pas d'autre chemin possible, précisément parce qu'il s'agit de bien autre chose que d'un procédé géométrique ingénieux.

C'est pourquoi la preuve donnée par Kant doit être complétée, dans les *Remarques* qui suivent le théorème, par la critique des autres manières d'établir les lois du choc des corps, qui prétendraient faire l'économie d'un passage par la construction de Huygens (et, à travers lui, d'un recours au caractère relatif du mouvement). Il refuse en particulier de supposer dans les corps, à la suite de Kepler, de Leibniz, et même de Newton, une « force d'inertie » par laquelle ils résisteraient à leur mise en mouvement. L'expression est déjà une contradiction dans les termes, puisque l'*inertie* ne peut désigner que l'absence d'action, comme c'est bien le cas dans le principe du même nom : soustrait à toute cause externe de changement, un corps conserve le même état de mouvement, non pas par un effort interne, mais simplement du fait qu'aucune action n'est exercée sur lui. Or, dans le cas du choc des corps, celui qu'on imagine en repos oppose une *résistance effective* à l'autre corps qui le rencontre : c'est là une véritable force, qui n'a plus rien à

voir avec la simple absence de vie à laquelle renvoie l'inertie en son sens précédent. Une telle force, qui pourrait résister au mouvement mais jamais rien mettre en mouvement par elle-même, constitue un pur être de raison, car la seule chose que nous pouvons concevoir comme opposée à un mouvement est un mouvement réel (ou du moins une tendance réelle au mouvement) en sens contraire. Même quand on l'utilise simplement pour décrire après coup ce que l'expérience nous apprend[11], elle fausse la compréhension de ce qui a réellement lieu dans la communication du mouvement, et conduit à des malentendus. Par exemple, certains vont s'imaginer que le corps A rencontrant B en repos doit consumer une partie de sa quantité de mouvement pour surmonter la force d'inertie de B, ce qui violerait les vraies lois du choc. Car cela impliquerait, d'une part, que si B est suffisamment massif, tout le mouvement peut être détruit par son inertie, B restant parfaitement immobile (contrairement à ce qu'établit le corollaire 1) ; d'autre part, que la quantité de mouvement « vers un même côté » ne se conserve pas, ce qui est pourtant la règle essentielle qui s'agit de démontrer.

Kant et Descartes.

Cette mise au point est importante car elle s'inscrit dans un effort systématique pour « purger » la science de la nature de tout recours à des forces intrinsèques, pour la fonder intégralement sur les relations externes, les seules que nous puissions connaître, comme la *Critique de la raison pure* l'a déjà prouvé en principe[12]. Kant se montre en cela un continuateur de Descartes, qui se donne le même but en tâchant de réduire la matière à l'étendue[13]. La réflexion critique sur les fondements transcendantaux de l'unité de la nature lui permet d'éviter les apories de la physique cartésienne tout en restant fidèle à l'esprit de cette physique. Dans le cas présent, l'aporie vient de ce qu'on ne peut pas comprendre comment un corps pourrait, *par son seul repos*, résister à un autre corps en mouvement. Leibniz et d'autres y voient une raison pour réintroduire une force interne dans les corps, la force d'inertie au sens impropre que l'on vient d'expliquer. Kant, en revanche, reprenant la démarche de Huygens, parvient à résoudre le problème en en revenant au contraire au caractère purement extérieur des relations dans l'espace, qui entraîne la relativité du mouvement et permet alors de concevoir les deux corps comme en mouvement l'un par rapport à l'autre. La méthode ainsi mise en œuvre se retrouve comme une constante à tous les niveaux de la Mécanique. Pour passer des trois analogies de l'expérience aux principes de la science de la nature (extérieure), il s'agit chaque fois de tenir fermement le caractère purement extérieur des relations dans l'espace, en refusant absolument tout mélange avec les données du sens interne. La première analogie de l'expérience établit la permanence de la substance dans le phénomène. Mais c'est seulement parce que la substance matérielle est *partes extra partes* que l'on peut en conclure la conservation de la même quantité de matière dans le monde[14]. De même, pour passer de la seconde analogie de l'expérience :

[11] Remarque 1 : « Pour complaire à cette loi, d'autres introduisirent dans la science de la nature une force spéciale de la matière sous le nom donné en premier lieu par Kepler de *force d'inertie*, *la tirant au fond eux aussi de l'expérience.* » (Je souligne la fin).

[12] Voir en particulier l'Amphibologie des concepts de la réflexion.

[13] C'est par l'invocation du philosophe français qu'il débute son opuscule de 1758, « Nouvelle définition du mouvement et du repos… », où est déjà expliquée la démonstration des lois du choc des corps qu'on trouve dans les *PPMSN*, même si elle ne peut s'appuyer alors sur l'édifice transcendantal. La première page est une exposition du caractère relatif du mouvement qui paraphrase les *Principes de la philosophie*.

[14] Voir le Théorème 2 et sa Remarque : « Le point essentiel qui, dans cette démonstration, caractérise la *substance* qui n'est possible que dans l'espace et en se conformant à ses conditions, par suite comme objet des sens externes seulement, c'est que sa grandeur ne peut être augmentée ou diminuée sans que la substance se crée ou se perde, parce que toute grandeur d'un objet seulement possible dans l'espace doit être formée de parties extérieures l'une à l'autre ; or, celles-ci, pour être réelles (mobiles), doivent

« Tout changement a une cause », au principe d'inertie : « Tout changement dans l'état de mouvement d'un mobile a une cause externe », il faut comprendre la matière comme nécessairement privée de tout principe interne d'action[15]. Enfin, on vient de le voir, c'est la relativité du mouvement (donc le fait qu'il n'est pas la propriété intrinsèque d'un corps) qui permet de se représenter la mutualité de l'action de deux mobiles lors d'une communication de mouvement, et pas du tout le recours à une quelconque *vis insita*, qui là encore ne se laisserait imaginer qu'au prix d'un mélange avec le sens interne (comme on le voit dans l'expression de *répugnance* au mouvement utilisée pour parler de la force d'inertie).

Critique de l'idée d'une « transfusion » du mouvement dans le choc.

Le vice d'une telle conception ne consiste pas à nier qu'il y ait une réaction de la part du corps B en repos, mais à l'attribuer à une force interne de ce corps au lieu de la représenter extérieurement par un mouvement de B en sens contraire avec l'espace empirique. Toutefois Kant critique aussi une autre manière d'expliquer le phénomène, qui revient quant à elle à supprimer toute véritable réaction. Elle consiste à se figurer l'effet du choc comme une « transfusion » d'une partie de la quantité de mouvement du mobile A au mobile B, de façon à ce que les deux puissent ensuite avancer ensemble dans la direction de A[16]. Cela risque de se faire au prix d'une grave confusion métaphysique, puisqu'on traite le mouvement ainsi transmis comme une substance se déplaçant d'un lieu (le corps A) en un autre (le corps B), alors qu'on a affaire en réalité aux prédicats de deux substances. « Le terme de passage du mouvement d'un corps dans un autre n'explique rien ; et si on ne veut pas le comprendre littéralement (contrairement au principe : *accidentia non migrant e substantiis a substantias* [les accidents ne migrent pas d'une substance dans une autre]) comme si un mouvement était versé d'un corps dans un autre à la façon de l'eau d'un verre dans l'autre, le problème consiste ici précisément à montrer comment peut se rendre compréhensible cette possibilité »[17]. La question est la suivante : pourquoi et selon quelle règle l'état de mouvement du corps A modifie-t-il celui du corps B ? On peut bien dire qu'il doit mettre B en mouvement à cause de l'impénétrabilité des deux corps, qui les empêche d'occuper le même lieu au même instant ; mais il est impossible de concevoir la présence simultanée des deux corps au point de contact autrement qu'en leur prêtant une action réciproque l'un sur l'autre. La quantité de mouvement doit donc d'emblée (avant le choc) se répartir de façon égale entre A et B, au lieu d'être conçue unilatéralement comme transmise de A à B au moment du choc. L'explication par la force d'inertie, bien qu'elle ne contredise pas la troisième analogie de l'expérience, est fausse parce qu'elle se fonde sur un

nécessairement être des substances. Au contraire, ce qui est considéré comme objet du sens interne peut avoir comme substance, une grandeur qui ne se compose par de *parties extérieures les unes aux autres* ; les parties n'en sont pas des substances dont la naissance ou la disparition ne peut être [que] la naissance ou la disparition d'une substance ; leur accroissement ou leur diminution est donc possible sans porter atteinte au principe de la permanence de la substance. »

[15] Voir le Théorème 3 et sa Remarque : « La *vie*, c'est le pouvoir qu'a une substance de se déterminer à agir en vertu d'un principe interne (…). Or, nous ne connaissons en une substance pas d'autre principe intérieur pour la déterminer à changer sa condition que le *désir* et d'une manière générale aucune autre activité intérieure que la *pensée* avec ce qui en dépend, le *sentiment* de plaisir et de peine, l'appétit ou la volonté. Cependant ces principes de détermination et ces actions ne font pas partie des représentations des sens externes ni par conséquent des déterminations de la matière comme telle. Ainsi toute matière comme telle est *privée de vie*. »

[16] Voir la Remarque 1 : « d'autres enfin l'ont placée dans la notion d'une simple communication du mouvement qu'ils regardaient comme le passage graduel du mouvement de l'un des corps dans l'autre (…). De cette manière, ils supprimaient toute réaction, c'est-à-dire toute force vraiment réagissante du corps recevant le choc contre celui qui le cause ».

[17] Plus loin dans la même Remarque 1.

concept confus de la matière. Inversement, on peut dire de la théorie ici critiquée qu'elle ne pèche pas par sa manière de se représenter les corps mais par son usage brouillé de la troisième analogie de l'expérience. La connaissance de la possibilité pour une substance de modifier les déterminations d'une autre (et réciproquement) constitue un acte synthétique qui n'est pas du tout possible à l'aide de simples concepts (tel celui du corps comme étendue impénétrable). Elle exige le passage par un *moyen terme*, lequel n'est autre ici que la condition universelle pour percevoir des corps existant simultanément dans l'espace (à savoir une communauté réelle entre ces corps, c'est-à-dire une interaction). C'est ce moyen terme qui manque à la théorie précédente de la transmission du mouvement. Prétendant dériver les lois du choc des simples concepts de substance matérielle et de mouvement, elle est en fait obligée, comme toujours quand on veut prouver analytiquement ce qui en réalité est synthétique, de supposer tacitement ce qu'elle veut établir.

Kant et Leibniz.

Il est donc impossible de comprendre comment un corps, du fait de son mouvement, agit *immédiatement* sur un autre dans le contact. Il faut en passer par un moyen terme. La prise de conscience de cette difficulté a dû jeter le doute, au XVIIIe siècle, ce qui apparaissait au siècle précédent comme le lien de cause à effet le plus simple et le plus clair. Dès lors toute relation causale devient un problème, qui sera formulé dans toute son ampleur par la philosophie sceptique de Hume. Et c'est notamment pour résoudre ce problème abyssal que Kant est amené à entreprendre la critique de la raison pure. Mais Leibniz déjà jette une vive lumière sur la difficulté en question. Il le fait d'abord en remarquant que, du strict point de vue métaphysique, l'action directe d'une substance sur une autre est inintelligible : toutes les déterminations d'une monade doivent venir « de son propre fond », c'est-à-dire d'un principe interne de changement. Si les substances paraissent agir les unes sur les autres, si on peut dire en un sens qu'elles le font, c'est parce qu'elles expriment toutes la même réalité à des points de vue différents, de sorte qu'il y a entre elles une « harmonie préétablie ». Dans sa *Remarque générale sur le système des Principes*[18], Kant souligne qu'on en arrive nécessairement à une telle conception lorsque, voulant penser les choses en soi, on se place uniquement sur le terrain de l'entendement, en faisant abstraction de la forme de l'intuition. « En effet, comment veut-on penser comme possible que, plusieurs substances existant, de l'existence de l'une quelque chose puisse résulter (comme effet) dans l'existence de l'autre et réciproquement, et qu'ainsi, parce qu'il y a quelque chose dans la première, il doit y avoir aussi dans les autres quelque chose, qui ne peut être compris à partir de leur seule existence ? Car cela est requis pour qu'il y ait communauté, mais ce n'est pas compréhensible pour les choses, dont chacune s'isole pleinement par sa subsistance. Aussi Leibniz, alors qu'il attribuait une communauté aux substances du monde, telles que les pense le seul entendement, avait-il besoin de la médiation d'une divinité ; car cette communauté lui paraissait à bon droit incompréhensible à partir de leur seule existence. » Mais Leibniz ne reste pas confiné dans ce domaine métaphysique. Il aborde également la question sur le terrain de l'expérience, où nous avons à penser l'influence physique d'un corps sur un autre. Or, à ce niveau aussi, il s'avère qu'une interaction immédiate est impensable :

« Les corps n'agissent pas immédiatement l'un sur l'autre du fait de leurs mouvements, ils ne se meuvent immédiatement qu'en vertu de leur élasticité (*per sua Elastra*). »[19]

[18] *C.R.P.*, B288.
[19] Proposition 6 de la section consacrée au choc des corps dans la *Dynamica* de 1690.

On voit que le moyen terme auquel Leibniz a recours n'est pas ici, comme chez Kant, un principe transcendantal, ou la prise en compte de la relativité du mouvement, mais une propriété interne des corps, leur élasticité. Celle-ci est comme l'expression, dans le phénomène, de la métaphysique de l'action : de même que tout changement dans la monade est dû en réalité à une action interne, ainsi le changement d'état de mouvement d'un corps qui en rencontre un autre lui vient en quelque sorte de lui-même, puisqu'il a pour cause l'effort accompli par ce corps supposé élastique pour se restituer après déformation (l'autre corps ne faisant, en le déformant, que lui offrir l'occasion de déployer un tel effort). L'élasticité est d'ailleurs pour Leibniz une propriété tout à fait universelle de la matière, car le choc entre deux corps parfaitement durs est rigoureusement impensable : de tels corps devraient nécessairement rejaillir (pour conserver leur puissance absolue ou quantité de force vive), mais ne le pourraient pas sans violer le principe de continuité[20].

Kant refuse explicitement un tel recours à l'élasticité des corps pour fonder les lois de la communication du mouvement dans le choc. Dans les *PPMSN*[21], il présente cela comme un subterfuge auxquels sont obligés d'avoir recours ceux qui conçoivent une telle communication comme une « transfusion ». Si A et B sont des corps parfaitement durs, il semble « inévitable » que A transfère à B la totalité de sa quantité de mouvement, se retrouvant ainsi immobilisé après le choc, au lieu de lui en donner seulement une partie de façon à se mouvoir ensuite de concert avec lui. « Or cette loi du mouvement ne s'accordant ni avec l'expérience, ni avec elle-même en ses applications, on ne sut comment s'en tirer sauf à nier l'existence de corps absolument durs. »[22] Quand les corps sont flexibles, on peut en effet éviter la conséquence indésirable en concevant que le corps A cède graduellement son mouvement au corps B, par une déformation progressive, jusqu'à ce que les vitesses de chacun dans la même direction se retrouvent égales. Est-ce encore Leibniz qui est visé, lui qui refuse l'existence des corps parfaitement durs pour la raison qu'elle contredirait les principes fondamentaux de la dynamique ? Son raisonnement est très différent pourtant de celui qui est critiqué ici. Comme on vient de le voir, Leibniz se refuse lui aussi à penser la communication du mouvement comme une simple « transfusion ». L'élasticité ne lui sert pas d'hypothèse *ad hoc* destinée à sauver cette image de la transfusion, mais au contraire de moyen terme pour concevoir l'égalité de l'action et de la réaction dans le choc. Tout revient pour lui à se représenter les deux mobiles qui se rencontrent comme un unique Ressort dont la tension est proportionnelle à leur vitesse respective, sans qu'importe à ce point de vue la distribution « réelle » des vitesses. Le détour par le Ressort permet ainsi de fonder l'égalité de l'action et de la réaction sur la relativité du mouvement, en accord sur ce point avec la démarche de Kant.

Même ainsi interprété, ce recours à l'élasticité n'est pas satisfaisant pour deux raisons. D'une part, il fait reposer des lois nécessaires sur une propriété contingente de la matière, ce qui est incohérent[23]. Kant souligne au contraire que la démonstration qu'il propose pour l'égalité de l'action et de la réaction est complètement indépendante de telles propriétés des corps. Certes, nous avons indiqué plus haut qu'à première vue, les lois du choc données dans le théorème 4 concernent uniquement les corps inélastiques, car elles supposent qu'il n'y a aucun

[20] Voir la Proposition 5 de la même section, avec sa démonstration.
[21] Et déjà dans l'opuscule de 1758, où il va jusqu'à nier la loi physique de la continuité, dont la *C.R.P.* apportera pourtant une preuve transcendantale. Voir sur ce point les notes de S.Zac, 1970.
[22] Note 1 de la Remarque 1 qui suit le Théorème 4 de la Mécanique.
[23] « C'était là admettre la contingence de cette loi puisqu'elle devait dépendre de la qualité particulière des matières qui s'impriment mutuellement un mouvement. » Soulignons que ce n'est pas incohérent dans l'esprit de Leibniz, qui reconnaît volontiers cette contingence des lois du mouvement.

rejaillissement après le choc quand les deux corps ont des quantités de mouvement égales. Mais, en fait, la méthode de Huygens qu'il permet de fonder s'adapte aussi bien au cas du choc élastique, comme le montre le traité même du savant hollandais, tout entier basé sur cette hypothèse. La communication du mouvement dans la rencontre des corps parfaitement élastiques est gouvernée par trois lois fondamentales : la conservation de la vitesse respective (les deux corps s'éloignent après le choc aussi vite qu'ils se rapprochaient avant) ; la conservation de la somme des forces vives (ou, dirait-on aujourd'hui, de l'énergie cinétique) ; enfin la conservation de la quantité de mouvement orientée, ou (cela revient au même) de la translation du centre de gravité du système formé par les corps. Les deux premières règles ne valent plus quand les corps ne sont pas parfaitement élastiques, une partie de leur force respective étant absorbée par leurs parties. La troisième, en revanche, est absolument universelle. Or c'est bien elle et elle seule qu'il s'agit d'établir, pour Kant, avec le Théorème 4 de la Mécanique. La translation du centre de gravité y est figurée de manière particulièrement limpide par l'attribution du mouvement inverse à tout l'espace empirique, rendant possible une distribution égale de l'action et de la réaction entre les corps[24]. Les quantités de mouvement attribuées dès lors aux corps A et B étant égales et opposées, la rencontre des mobiles ne peut aucunement perturber le déplacement uniforme de leur centre de gravité : leurs forces motrices s'entre-détruiront de toute façon, et ils tendront à demeurer immobiles l'un par rapport à l'autre. Si maintenant on prend en compte leur éventuelle élasticité, il se peut qu'elle les fasse rejaillir après le choc mais, comme la force du ressort agit de la même manière des deux côtés, elle leur conférera des vitesses inversement proportionnelles à leur masse, ce qui ne changera rien à la position de leur centre de gravité. Quelle que soit l'hypothèse faite sur la qualité des corps, l'égalité de l'action et de la réaction, et la conservation du progrès du centre de gravité qui en résulte, sont donc démontrées.

Non seulement l'élasticité ne doit pas intervenir dans l'établissement de cette loi pour ne pas l'affaiblir par sa contingence, mais en plus (c'est la seconde raison annoncée) elle ne prouve pas ce qu'on demande, sauf à admettre de nouveau tacitement le point en question. Leibniz fait appel au ressort des corps pour se représenter la communication de mouvement comme une action parfaitement réciproque, où seule compte la vitesse respective qui comprime plus ou moins ce ressort. Ce dernier, en se restituant, agit de la même manière sur les deux mobiles, ce qui explique aussi pourquoi leur action mutuelle ne peut avoir aucune influence sur la translation de leur centre de gravité. Mais la difficulté demeure, de comprendre quelles sont les forces qui compriment leur ressort quand les corps se rencontrent. Imaginons de nouveau le corps A en mouvement vers le corps B au repos : si la force motrice de A produit d'abord une déformation des deux corps plutôt qu'un déplacement de B, c'est que B oppose à A une véritable résistance. Et dès lors le problème fondamental revient : comment comprendre que, par son seul repos, B puisse avoir une influence sur le mouvement de A ? Dans les *Principes*, Descartes cherche à l'expliquer au moyen de l'inertie, qu'il se représente correctement comme une absence d'action plutôt que comme la force interne déjà critiquée plus haut. Mais l'inertie de B, ainsi conçue, indique seulement qu'il faut une cause extérieure pour le mettre en mouvement. Elle ne fait pas voir à elle seule pourquoi et comment B réagit sur cette cause extérieure, en modifiant à son tour l'état de mouvement de A. L'élasticité des corps ne donne pas davantage la clé de cette énigme, remarque Kant à la fin de la note qu'il lui consacre[25] : « Je ne puis, pour ma part,

[24] C'est déjà le cas dans le traité de Huygens, que Kant suit jusque dans sa manière de *figurer* le choc, comme on peut le voir en comparant la figure accompagnant le théorème 4 et celle de Huygens expliquée par M.Fichant dans son Introduction à la *Réforme de la Dynamique*.
[25] Note 1 dans la Remarque 1 qui fait suite au Théorème 4.

comprendre comment il se fait que les transfusionnistes du mouvement veuillent expliquer à leur manière le mouvement de corps *élastiques* par le choc ; car il est clair que le corps au repos ne reçoit pas, pour être simplement au repos, le mouvement que perd le corps d'où vient le choc, mais que dans le choc, il exerce une force réelle en sens contraire contre le corps qui le heurte pour comprimer entre eux le ressort en quelque sorte ; ce qui exige de sa part autant de mouvement réel (mais en sens contraire) qu'en exige de son côté à cette fin le corps qui le meut. » La position du ressort comme intermédiaire dans la communication du mouvement n'est ici d'aucun secours, car afin d'être comprimé ce ressort doit subir une action réelle *des deux côtés*, action qu'on ne peut pas se représenter du côté de B tant qu'on se représente ce corps comme purement et simplement en repos. On est donc finalement obligé d'en venir à la construction de Huygens, loin de pouvoir, comme le voulait Leibniz, fonder cette construction sur la prise en compte de l'élasticité universelle des corps.

L'attribution aux deux corps qui se rencontrent d'une quantité de mouvement égale, par l'intermédiaire du déplacement de l'espace empirique par rapport auquel on les situe, est donc bien une nécessité pour rendre intelligible le phénomène de la communication du mouvement. Ce n'est pas toutefois une condition suffisante, dans la mesure où l'action qu'un corps exerce sur un autre du fait de son mouvement renvoie aux « forces originaires » qui font la réalité de toute substance matérielle *en tant que telle*, indépendamment de son état de mouvement. Dans la terminologie de Kant, le concept proprement mécanique de la matière, bien qu'irréductible à son concept dynamique, doit cependant être fondé sur lui. Il le signale dès le début de la Troisième Section des *PPMSN* : « La répulsion était une force primitivement motrice pour *conférer* [*erteilen*, je suppose ; la traduction par « communiquer » prête à confusion] un mouvement ; par contre, en mécanique, on considère la force d'une matière mise en mouvement dans le but de *transmettre* ce mouvement à une autre. Mais il est clair que le mobile *du fait de son mouvement* ne disposerait d'aucune force motrice s'il ne possédait des forces primitivement motrices, grâce auxquelles il agit en tous les lieux où il se trouve, avant de réaliser lui-même un mouvement ; qu'aucune matière n'imprimerait un mouvement égal au sien, à une autre qui se trouve devant elle sur son chemin s'opposant à son mouvement en ligne droite, si toutes deux n'étaient soumises aux lois primordiales de la répulsion… ». Afin de comprendre comment A et B agissent l'un sur l'autre du fait de leurs mouvements en sens contraire, nous sommes donc renvoyés finalement aux forces de répulsion originaires par lesquelles ils remplissent leur espace. Le point essentiel ici consiste à ne pas se représenter l'impénétrabilité de la matière comme une propriété *absolue*, qu'elle posséderait en vertu du seul principe de contradiction. Il faut distinguer en effet le fait d'*occuper* un espace et le fait de le *remplir*. Tout objet *réel* du sens externe remplit l'espace au sens où il s'oppose à la pénétration d'un autre corps dans l'espace qu'il occupe : comme on ne peut rien concevoir d'opposé à un mouvement donné, sinon un mouvement en sens contraire, cela signifie que chaque partie de la matière possède une force répulsive par laquelle elle confère un mouvement d'éloignement à toutes les parties de matière avec lesquelles elle est en contact. De même que toute réalité dans le phénomène, cette force par laquelle la matière remplit l'espace doit, en vertu des anticipations de la perception, être susceptible de degrés, et c'est pourquoi la notion d'impénétrabilité absolue est à proscrire comme une qualité occulte[26]. Curieusement, on est conduit par un tel raisonnement à

[26] Voir notamment la *Remarque 2* après la *Définition 4* de la Dynamique : « L'impénétrabilité absolue n'est, en effet, ni plus ni moins qu'une *qualitas occulta*. Car l'on demande la raison pour laquelle les matières en leur mouvement ne peuvent se pénétrer l'une l'autre et l'on obtient cette réponse : parce qu'elles sont impénétrables. Si l'on fait appel à la force répulsive, cette solution est exempte de ce reproche. Il est vrai que la possibilité de cette force ne peut s'expliquer et celle-ci doit être considérée comme une force

réintroduire une élasticité universelle de la matière, qui ne peut pas de ce point de vue être considérée comme une propriété contingente puisqu'elle est constitutive de la réalité matérielle en tant que telle. C'est une différence importante entre les *PPMSN* et l'opuscule de 1758 sur une nouvelle définition du mouvement, où les corps parfaitement durs servent de paradigmes[27]. La force répulsive par laquelle chaque point de matière tend à s'éloigner de ses voisins détermine en chaque corps une véritable « force expansive », d'autant plus forte qu'il se trouve comprimé en un espace plus petit[28], et qui lui confère donc une élasticité originelle. Sans l'attraction qui constitue l'autre force essentielle de la matière, celle-ci se « dissoudrait » dans l'espace à l'infini du fait de sa force expansive. La réalité de toute matière résulte ainsi d'un équilibre entre force de répulsion et force d'attraction, équilibre susceptible d'une infinité de degrés qui excluent aussi bien la possibilité d'un corps parfaitement dur que celle d'un corps parfaitement flexible (à l'instar du « troisième élément » du système de Descartes tel que le comprend et le critique Leibniz).

Est-ce à dire que Kant, par une autre voie, retrouve les conclusions de la Dynamique leibnizienne ? Il ne faut pas aller trop vite. Du point de vue qui nous intéresse ici, c'est-à-dire concernant la communication du mouvement dans le choc, l'élasticité n'intervient pas du tout de la même façon dans les deux cas. Elle permet à Leibniz de concevoir la *conservation de la puissance totale* malgré la diminution progressive du mouvement des deux mobiles, parce que la déformation du ressort transfère cette force aux parties, qui la restitueront quand le ressort se détendra. En revanche, dans la démonstration de Kant, l'éventuelle déformation des corps n'intervient pas du tout, non plus que l'action d'une force élastique qui les ferait rejaillir. Il s'agit uniquement de comprendre la mutuelle *destruction* des mouvements des deux corps agissant également l'un sur l'autre, du fait de leur force de répulsion. De plus, Leibniz n'admettait dans la matière aucune force motrice originelle au sens de Kant. Il ne fait pas dériver l'élasticité des corps d'une tendance expansive propre à toute matière, mais d'un mécanisme lié à l'influence de l'éther sur le mouvement de leurs particules insensibles. Et comme ces particules doivent à leur tour être conçues comme possédant un certain degré d'élasticité, Leibniz est amené à admettre une division actuelle de la matière à l'infinie, ce que Kant rejette dans la *Critique de la raison pure*[29]. Il demeure que les arguments utilisés par Leibniz pour combattre l'hypothèse des atomes faite par Huygens[30] rejoignent pour l'essentiel les objections de Kant contre l'impénétrabilité absolue. Dans le Traité de 1690, sont aussi rejetées par deux propositions spécifiques, non seulement une matière d'une infinie dureté, mais aussi une matière complètement flexible. On

fondamentale ; elle donne néanmoins l'idée d'une cause active et de ses lois d'après lesquelles l'effet, c'est-à-dire la résistance dans l'espace plein, peut s'évaluer suivant ses degrés. »

[27] « Il est aussi inutile d'alléguer qu'il n'y a absolument pas dans la nature de corps parfaitement durs. En effet, il suffit ici de les poser par la pensée et de déterminer les lois de leurs mouvements, puisque c'est seulement moyennant celles-ci qu'on peut découvrir les lois suivant lesquelles les corps flexibles s'entrechoquent. »

[28] Voir le *Théorème 3* de la Dynamique, avec sa Démonstration et sa Remarque.

[29] Plus précisément, Kant rejette l'idée d'une organisation de la matière dans l'infiniment petit, à laquelle Leibniz était conduit par sa manière de penser la division actuelle. Voir *C.R.P.*, A 526 / B 554 : « Bien que cette règle de la progression à l'infini dans la subdivision d'un phénomène, considéré simplement comme remplissant l'espace, ait une application qui ne souffre pas le moindre doute, elle ne peut plus cependant avoir de valeur quand nous voulons l'étendre à la multitude des parties déjà séparées d'une certaine manière dans le tout donné et qui constituent ainsi un *quantum discretum*. Admettre que, dans chaque tout articulé (organisé), chaque partie soit articulée à son tour, et que, de cette manière, dans la division des parties à l'infini, on arrive toujours à de nouvelles parties organisées, en un mot que le tout soit articulé à l'infini, cela est parfaitement impensable, bien qu'on puisse parfaitement admettre que les parties de la matière, dans leur décomposition à l'infini, puissent être articulées. »

[30] Voir leur Correspondance, dans les *Mathematische Schriften*, tome II.

peut également remarquer que la Dynamique leibnizienne met en place une manière de penser la réalité des corps comme la résultante d'une « intension » et d'une « extension », qui n'est peut-être pas sans rapport avec la dualité des forces originaires grâce auxquelles Kant construit le concept dynamique de la matière. Mais un tel rapprochement, hasardeux, sort de toute façon des limites de cette étude.